

# 新中国果树科学研究70年——石榴

陈利娜, 敬丹, 唐丽颖, 曹尚银\*

(中国农业科学院郑州果树研究所, 郑州 450009)

**摘要:** 新中国成立以来, 中国石榴产业发生了翻天覆地的变化, 从小规模零星种植发展到现在栽培面积已超越世界石榴原产地伊朗, 位居世界第一, 目前我国石榴产业朝气蓬勃, 欣欣向荣。笔者回顾了中国石榴研究70年来的发展历程; 总结了石榴在资源鉴定、遗传育种、栽培土肥、病虫害防治、贮藏加工和机械化管理等方面的研究进展; 介绍了中国石榴产业的发展现状; 并对中国石榴发展前景进行展望, 以为业界人士提供一定参考。

**关键词:** 石榴; 新中国; 70年; 科学研究; 回顾; 展望

**中图分类号:** S665.4      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1009-9980(2019)10-1389-10

## Fruit scientific research in New China in the past 70 years: Pomegranate

CHEN Lina, JING Dan, TANG Liying, CAO Shangyin\*

(Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450009, Henan, China)

**Abstract:** Pomegranate (*Punica granatum* L., Lythraceae), one of the important deciduous fruit crops worldwide, is valued for its medicinal and economic values. At the recent seven decades, the development of pomegranate has undergone earth-shaking changes. According to incomplete statistics, in the early 1980s, China's pomegranate cultivation area was 3 333 hm<sup>2</sup>, in the mid-1980s, it increased to 4 200 hm<sup>2</sup>, and by 2013, the cultivation area has up to 120 000 hm<sup>2</sup>. The production of pomegranate was less than 5 000 t in the early 1980s, and increased to 25 000 t in the early 1990s, pomegranate production in 2013 has reached 1.2 million tons. The number of pomegranate varieties increased from 135 in 1988 to more than 350 in 2018. Pomegranate research is relatively backward compared to apples, citrus, pears and other fruit trees, but it has been rapidly improved at the recent seven decades. Here, the development of Chinese pomegranate research in the past 70 years were summarized, including resource identification, genetic breeding, cultivation of soil fertility, pest control, storage processing and mechanized management. Expecting to provide a reference for peer researchers.

**Key words:** Pomegranate; New China; 70 years; Scientific research; Review; Prospect

石榴(*Punica granatum* L.)系千屈菜科(Lythraceae), 石榴属(*Punica* L.)落叶果树<sup>[1]</sup>, 该属只有两个种, 一种原产于索科特拉(Socotra)岛, 是没有栽培价值的野石榴, 我国目前广为栽培的石榴<sup>[2]</sup>属于另一个种。石榴起源于伊朗、阿富汗和高加索等中亚西亚地区, 西汉时期张骞出使西域由安息国(即今天的伊朗地区)传入中国, 距今已有2 000多a(年)的栽培历史<sup>[3-4]</sup>, 是一种集营养、药用、经济、生态、观赏、

文化价值于一身的优良树种<sup>[4]</sup>。

新中国成立以来, 中国石榴发展发生翻天覆地的变化, 据不完全统计, 80年代初期, 中国石榴栽培面积3 333 hm<sup>2</sup><sup>[5]</sup>; 80年代中期增加到4 200 hm<sup>2</sup><sup>[6]</sup>; 90年代初发展到13 333 hm<sup>2</sup><sup>[5]</sup>; 1998年发展到42 000 hm<sup>2</sup><sup>[6]</sup>; 2013年栽培面积已达到12万hm<sup>2</sup><sup>[4]</sup>。果树产量80年代初不足5 000 t<sup>[5]</sup>, 90年代初25 000 t<sup>[5]</sup>, 1998年49 000 t<sup>[6]</sup>, 2013年石榴产量已达到120万t<sup>[4]</sup>。石

收稿日期: 2019-09-13      接受日期: 2019-10-05

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程(CAAS-ASTIP-2019-ZFRI); 中国农业科学院基本科研业务费专项(1610192019103)

作者简介: 陈利娜, 女, 在读博士研究生, 研究方向为果树遗传育种。Tel: 13283811852, E-mail: 1571863765@qq.com

\*通信作者 Author for correspondence. Tel: 0371-65330990, E-mail: 13937192127@163.com

榴品种由 1988 年的 135 个增加到 2018 年的 350 多个,期间培育了大量品质优良、抗性强的新品种,其中,1986 年,突尼斯与中国建交并赠送石榴树苗 6 棵,定植于河南省河阴石榴基地,2002 年被正式命名为‘突尼斯软籽’石榴,自此,‘突尼斯软籽’石榴风靡全国各地,并打开了我国软籽石榴市场,截止 2016 年底,我国软籽石榴保存面积约 4 164.1 hm<sup>2</sup>,约占石榴总面积的 5%<sup>[7]</sup>。

石榴科学研究较苹果、柑橘、梨等果树相对落后,但新中国成立以来其科研实力得到了快速提升。自新中国成立到 1978 年,28 a(年)间石榴研究主要集中在石榴果皮和根皮对细菌性痢疾、中耳炎和小儿消化不良等的疗效。1978—2001 年,随着经济的飞速发展,人民生活水平的不断提高,我国石榴产业发展迅速。此期间,以张钦书、程亚东、邵则恭等为代表的科学家们对我国石榴种质资源进行调查,提出扦插繁殖石榴的方法,在组织培养、冻害防御、保花保果、采后贮藏等方面取得了进展。2001 年中国加入世界贸易组织,农业结构战略性调整加快,加强退耕还林,生态建设,果树发展壮大。此期间,以曹尚银、侯乐峰、冯玉增、苑兆和、陈延惠和郝兆祥等为代表的科学家们对石榴遗传育种、资源鉴定、栽培管理、土肥水管理、病虫害防治、贮藏加工和机械化管理等方面进行了深入研究。多样的石榴加工品涌现,高效优质栽培技术得以不断提升,同时,2017—2019 年我国相继发表了‘大笨籽’‘泰山红’和‘突尼斯软籽’石榴基因组<sup>[1,8-9]</sup>。这将为石榴分子生物学研究、开发分子标记等提供良好的基础。中国石榴科学研究正在向高效优质可持续的方向发展。

## 1 石榴科学研究发展历程

新中国成立 70 年来,中国石榴发展主要包括三个阶段:一是新中国成立初期到 20 世纪 70 年代末的缓慢发展阶段,二是 20 世纪 80 年代初到 21 世纪初的中速发展阶段,三是 21 世纪初至今的快速发展阶段。

新中国成立初期,全国各地仅有少量零星栽培,陕西临潼地区种植数目相对较多,栽培品种以地方品种‘大红甜’‘净皮甜’和‘三白甜’为代表。20 世纪 80 年代初开始石榴繁殖、育种工作开展,20 世纪

80 年代初到 21 世纪初,扦插繁殖及组织离体快繁技术被应用于石榴研究。21 世纪至今,石榴科学研究稳步前进,此期间石榴研究者们实现了石榴资源鉴定精准有效、品种品质全面提升、栽培技术优质高效、加工品琳琅满目和贮藏保鲜期变长。

### 1.1 资源鉴定

石榴在中国栽培历史悠久,经过长期的驯化栽培,形成了陕西临潼、河南荥阳、山东枣庄、安徽怀远、四川会理、云南蒙自和新疆叶城等栽培区,并形成了丰富的种质资源,因此种质资源鉴定和评价是种质资源工作的重要环节之一。新中国成立以来我国石榴资源鉴定的方法趋向多样化。

前期我国石榴资源鉴定主要通过花粉形态、植株形态,物候期,果实、花朵等外部形态,此期间,赵先贵等<sup>[10]</sup>于 1996 年利用光学显微镜和扫描电子显微镜对我国石榴花粉形态进行了研究,提出依据花粉形态区分石榴种下不同变种;2003 年,冯玉增等<sup>[11]</sup>以花蕾形状、花瓣形态、果实形状、果实颜色、萼筒形状、籽粒色泽、风味口感、含糖量、含酸量、用途及树形、萌芽率、成枝力、叶形和枝条等性状的差异,建立了河南省石榴品种资源分类检索表;2006 年,侯乐峰等<sup>[12]</sup>根据花朵颜色、花瓣数量、开花批数、果皮颜色、籽粒色泽、风味口感、果实大小、萼筒形状、植株大小、叶片形状等,建立了峄城 31 个石榴品种检索表;2008 年,徐迎碧等<sup>[13]</sup>利用细胞学水平观察,对不同品种间亲缘关系进行研究。

除了传统的形态学标记和细胞学标记技术在石榴种质资源鉴定中广泛应用外,随着分子生物学发展,分子标记技术被广泛应用于石榴种质资源鉴定,分子标记技术能够直接分析树体遗传物质,不受环境影响<sup>[14]</sup>,大大提高了资源鉴定的准确性,为我国石榴种质资源鉴定提供了更直接而精准的方法。目前较广泛应用的分子标记技术包括 RFLP、RAPD、SSR、ISSR、AFLP、EST-SSR、SCAR 和 SNP 等,分子标记技术最早于 21 世纪初被应用于我国石榴资源鉴定,2004 年巩雪梅<sup>[15]</sup>用 RAPD 技术,选用多态性较好的 32 对引物,对选用的 50 个品种(系)进行区分(表 1)。2007 年, Yuan 等<sup>[16]</sup>用 AFLP 技术对山东、陕西、河南等 6 个主栽培区的 85 份石榴种质进行分析,指出中国品种资源具有较丰富的遗传多样性,聚类分析表明同一区域的多数品种聚为一类;卢龙斗等<sup>[17]</sup>利用 RAPD 技术及 15 对引物将 55 个石榴品种

表1 分子标记在我国石榴资源鉴定中的应用  
Table 1 Application of molecule marker technology in pomegranate germplasm identification in China

年份 Year	第一作者 The first author	分子标记方法 Molecular marker method	品种数 Varieties number	总引物数 Total primer number	筛选后引物数 Number of primers after screened
2004	巩雪梅 Gong Xuemei	RAPD	50	60	32
2007	杨荣萍 Yang Rongping	RAPD	25	128	12
2007	卢龙斗 Lu Longdou	RAPD	55	120	15
2007	苑兆和 Yuan Zhaohe	AFLP	85	64	8
2008	热娜·卡司木 Rena Kamusi	RAPD	23	50	7
2008	沈进 Shen Jin	ISSR	45	45	17
2011	赵丽华 Zhao Lihua	ISSR	47	100	6
2012	赵丽华 Zhao Lihua	AFLP	42	64	5
2012	JIAN Z H	SSR	42	59	18
2013	赵丽华 Zhao Lihua	RAMP	46	100	14
2015	马丽 Ma Li	ISSR	82	-	10
2016	陈芸 Chen Yun	SRAP	21	36	16
2018	骆翔 Luo Xiang	SSR	136	-	13

划分为4个类群;但杨荣萍等<sup>[18]</sup>用RAPD技术,对25份云南地方品种进行亲缘关系研究,并指出云南石榴遗传背景较为复杂,采用RAPD技术难以划分类群(表1)。2008年,热娜·卡司木等对新疆地区23份品种进行亲缘关系研究<sup>[19]</sup>;沈进<sup>[20]</sup>用ISSR分子标记技术对我国具有代表性的40份品种进行遗传关系分析,发现与传统分类学不一致的分类结果。赵丽华等<sup>[21-22]</sup>分别于2011年、2012年和2013年用ISSR、AFLP和RAMP技术对我国不同石榴种质进行遗传关系研究,为我国石榴种质资源鉴定提供了25个多态性引物(表1)。2012年,Jian等<sup>[23]</sup>以18个国内外主栽品种和24个地方品种为试材,共筛选到18个多态性高的引物(表1)。2015年,马丽等<sup>[24]</sup>用10对多态性引物将我国82个石榴品种分成4个类群。2016年,陈芸等<sup>[25]</sup>用SRAP技术将新疆地区21份资源分为5个类群(表1)。2018年,Luo等<sup>[26]</sup>以136份石榴种质资源为材料,共筛选到13个多态性引物,并分析了136份种质资源的遗传多样性和群体结构(表1)。但不同于桃、苹果、梨等果树,石榴上并未开展

基于全基因组SNP的遗传多样性分析<sup>[27-29]</sup>。

新中国成立以来,中国大批学者结合外部形态、细胞学观察和分子标记技术对我国石榴种质资源进行鉴定、分类、评价、保存,大大减少了“同物异名”“同名异物”的现象,为保护知识产权,种质资源的保存提供了依据。

## 1.2 遗传育种

邓秀新等<sup>[30]</sup>将改革开放以来我国果树品质改良研究大体划分为3个阶段:(1)1978—1995年,主要工作为果树资源调查整理,品种比较试验,发掘地方良种;(2)1996—2007年,育种工作出现停顿;(3)2008年以后育种工作有序开展,新品种相继进入产业。1978—1995年间,我国石榴主要以果实大小、丰产性、抗干腐病为主要目标,经过果树资源调查整理,品种比较试验挖掘新品种,例如‘泰山大红’等,其中1986年中国林业部从突尼斯引进的优良品种‘突尼斯软籽’被评为2018年十大网红水果之一;1996—2007年间,尽管由于科研体制变化及部分研究机构改制等原因,我国果树育种工作出现停顿,但此期间仍育有品质佳、丰产性好,抗性强的石榴优良品种,如‘豫石榴1号’‘豫石榴2号’‘豫石榴3号’‘豫石榴4号’和‘巨籽蜜’等;2008年以后我国石榴育种工作有序开展,此期间优质新品种琳琅满目,育种工作硕果累累。尤其是近几年,我国先后完成了石榴基因组测序<sup>[1,8-9]</sup>。这些工作对加快果树品种改良具有重要意义。

1.2.1 育种成效 据不完全统计,我国石榴在过去70年间共选育了115个新品种,实现了适应不同栽培区的品种配套,各主栽培区发展其特色品种,例如河南荥阳‘突尼斯软籽’石榴、安徽怀远‘白玉籽’和‘红玉籽’石榴、新疆‘皮亚曼’石榴和陕西‘陕西大籽’石榴等。实现了石榴品种品质的全面提升,例如中国农业科学院郑州果树研究所曹尚银等从‘突尼斯软籽’石榴选育出果面芽变品种‘中农红软籽’,并以‘突尼斯软籽’石榴为亲本选育出‘中石榴2号’,针对‘突尼斯软籽’石榴果面颜色及抗寒性差进行改良。实现了石榴品种成熟期配套,例如‘临选2号’9月中下旬成熟,‘临选8号’9月中旬成熟,‘临选14号’9月下旬至10月上旬,‘陕西大籽’10月中下旬成熟。

1.2.2 育种目标 石榴育种目标随市场现状与趋势的变化而变化,新中国成立以来,我国石榴育种目标

经历了从追求果个大小和产量向追求品质的转变。早期培育的品种‘超红’‘巨籽蜜’‘白玉石籽’和‘红玉石籽’，丰产性好，果个大，抗病性强；‘枣庄红’成熟期提前，8月下旬成熟。引进的优质软籽石榴品种‘突尼斯软籽’前期在河南荥阳地区栽植，市场售价是普通硬籽品种的2~4倍，现在我国云南、四川、江苏和南阳等地区也均有栽培，随着‘突尼斯软籽’兴起，软籽性状成为主要育种目标之一，但软籽品种多抗寒性差，因此，近些年来，石榴主要育种目标：第一是品质，包括果实糖酸含量、果皮色泽、籽粒色泽、籽粒硬度等，例如‘中农红软籽’石榴果皮、籽粒均红色，核仁特软，可食用，提高了石榴的食用品质；第二是抗性强，包括抗寒性、抗病性等，例如‘陕西大籽’石榴果个大，高抗裂果，幼苗在陕西省礼泉县冬季不需要采取任何防寒措施可安全越冬，高抗石榴干腐病；第三是短枝型，石榴短枝上着生的石榴花中可育花比例显著性高于长枝<sup>[11]</sup>，高比例的可育花是提高石榴产量的重要因素，因此，培育短枝型品种不仅可

以调整石榴树形，减少株行距，还可以提高石榴产量，例如‘短枝红’等。

1.2.3 育种途径 按照品种选育途径进行分析，新中国成立以来，我国培育的115个新品种主要通过资源挖掘或实生选种获得，占比69.6%(表2)，其中包含一些现在主栽品种，例如‘白玉石籽’‘陕西大籽’‘豫大籽’和‘秋艳’等。诱变育种共获得品种1个‘枣辐软籽9号’。芽变选种21个，占比18.3%，其中‘中农红软籽’广为栽培(表2)。目前我国通过杂交育种获得的新品种较少，13个，占比11.3%，包括‘绿丰’‘中石榴2号’‘豫石榴4号’等(表2)。秋水仙素对‘Nana’进行离体四倍体诱导后，发现3个形态变异体，确认是混倍体，在进一步培养后分离为二倍体和四倍体<sup>[32]</sup>。总结以上可知，目前石榴育种主要依赖从自然或农家品种中提纯复壮，杂交育种及其他育种手段选育的品种较少，还处于初级阶段，国内鲜有报道分子标记辅助育种应用于石榴。

表 2 石榴主要品种选育情况

Table 2 Current situation of main pomegranate varieties

选育方式 Methods of breeding	品种数 Number of varieties	占比 Proportion/%	代表品种 Represent varieties
芽变选种 Spot selection	21	18.3	超青、超红、蜜宝软籽2号、中农红软籽、枣选1号 Chaoqing, Chaohong, Mibaoruanzi 2, Zhongnonghongruanzi, Zaoxuan 1
杂交育种 Cross breeding	13	11.3	绿丰、中石榴2号、豫石榴4号、豫石榴5号、抗寒红皮甜 Lüfeng, Zhongshiliu 2, Yushiliu 4, Yushiliu 5, Kanghanhongpitian
引种/资源挖掘/实生选种/诱变育种等 Selection by germplasm resource/ seedling/mutation et al.	80	69.6	皮亚曼、白玉石籽、蜜宝软籽、豫大籽、陕西大籽、秋艳、玛丽斯、慕乐 Piyaman, Baiyushizi, Mibaoruanzi, Yudazi, Shanxidazi, Qiuyan, Malisi, Mule

1.2.4 育种基础 石榴种质资源的收集、保存是植物育种的基础工作，新中国成立以来，我国石榴育种基础得以夯实，2009年由国家发展和改革委员会、国家林业局批准立项，由枣庄市石榴研究中心执行成立了枣庄市石榴国家林木种质资源库(于2016年10月被国家林业局正式命名)，共保存国内外品种298份<sup>[33]</sup>，中国农业科学院郑州果树研究所保存国内外石榴品种300份，同时，安徽、云南和四川等地区分别建有石榴种质资源圃。

### 1.3 分子生物学研究进展

石榴基因组测序是打开石榴分子生物学研究大门的一把钥匙，2017年秦改花等发表了‘大笨籽’石榴基因组，组装基因组大小328 Mb；2018年苑兆和等发表了‘泰山红’基因组，基因组大小274 Mb，从分子层面确立了石榴分类学地位；2019年骆翔等基

于二代和三代测序获得了‘突尼斯软籽’石榴高质量基因组，基因组大小320.3 Mb，采用Hi-C光学技术将97.76%的序列组装到了8对染色体上，对比‘泰山红’和‘大笨籽’基因组，‘突尼斯软籽’石榴基因组组装的完整度和精确度均得到了极大的提升。随后研究者们以石榴基因组序列为参考序列分别对石榴籽粒硬度、抗寒性、花雌蕊败育和果皮籽粒颜色调控机制方面进行深入挖掘<sup>[34-39]</sup>。籽粒硬度方面，2017年薛辉等<sup>[34]</sup>利用转录组测序技术挖掘出可能调控石榴籽粒硬度的基因，2018年Niu等<sup>[35]</sup>利用iTRAQ技术，于蛋白水平挖掘出了可能调控石榴籽粒硬度的因子，她们均指出石榴籽粒硬度与木质素和纤维素含量相关，2019年Xia等<sup>[36]</sup>通过分子生物学手段验证了一个NAC家族基因调控石榴籽粒硬度的功能；2019年Luo等<sup>[9]</sup>通过比较基因组学及群体遗传学研

究发现,软籽群体和硬籽群体间存在大量的受选择位点,并指出可能影响石榴硬籽和软籽特性分化的区段;石榴果皮籽粒颜色方面,Luo等<sup>[37]</sup>结合转录组和蛋白质组学分析,挖掘出调控石榴果皮颜色相关的调控因子;石榴花雌蕊败育方面,2017年Chen等<sup>[38]</sup>调查石榴花败育特点,从形态学方面观察石榴花败育的关键时期,并通过转录组测序技术挖掘到石榴花雌蕊败育相关基因,为石榴花雌蕊败育分子机制研究奠定基础;石榴抗寒性方面,刘贝贝等<sup>[39]</sup>测定80份石榴资源的半致死温度,评价了80份石榴种质的抗寒性差异,为培育抗寒石榴品种奠定基础。虽然石榴籽粒硬度、抗寒性、雌蕊发育和果皮颜色等方面均取得了一定进展,但缺乏相关基因功能验证方面的研究,目前石榴遗传转化体系正在逐渐完善,日本学者以EHA105为农杆菌菌株,构建双元表达载体PB19-sgfp,对矮化石榴‘Nana’进行遗传转化并成功获得阳性单株<sup>[40]</sup>。继日本学者在遗传转化体系的突破研究之后,曹尚银研究团队<sup>[41]</sup>及陈延惠研究团队<sup>[42]</sup>等利用叶片为外植体,进行愈伤组织诱导,对于稳定的石榴遗传转化体系的构建具有重要意义。

#### 1.4 病虫害防治

目前在石榴病虫害防治方面,基本弄清楚了石榴主要病虫害的发生规律及防治措施,2010年为止,共发现由不同菌源引起的石榴病害25种,害虫约70种,但不同石榴产区由于气候条件或栽培措施的影响,病虫害发生程度有一定的区别<sup>[43]</sup>。石榴的主要病害有干腐病、褐斑病、果腐病、疮痂病、根结线虫病、枯萎病等,其中干腐病是危害石榴较为普遍的严重病害。孙德茂<sup>[44]</sup>对陕西临潼石榴干腐病进行研究,对石榴进行一定的栽培处理有助于降低干腐病发病率,如套袋、除花蕊等。李永庆等<sup>[45]</sup>针对石榴干腐病从石榴树中分离出内生细菌,筛选出了具有高抗菌活性的内生拮抗菌株,为生物防治干腐病提供了新的思路。此外根结线虫病及枯萎病是近些年新发现的影响石榴正常生长的病害<sup>[4]</sup>,我国首例石榴线虫病害发生在安徽怀远<sup>[46]</sup>。周银丽等<sup>[47]</sup>对云南会泽、蒙自的石榴根部寄生线虫种进行了初步调查研究,鉴定出石榴根部线虫15属12种,对于根结线虫病的防治,植物检疫及肥水管理至关重要。周银丽等<sup>[48]</sup>从云南建水、蒙自石榴园的土壤中筛选到对石榴枯萎病菌有较强拮抗活性的芽孢杆菌,为更

环保地控制枯萎病的发生提供一定参考。影响石榴的主要虫害有桃蛀螟、黄刺蛾、桃小食心虫、石榴茎窗蛾、石榴绒蚧、蚜虫等<sup>[4,49]</sup>。其中桃蛀螟危害较为严重。研究发现桃蛀螟在盛产卵期及幼虫孵化期适当喷药,同时结合一定的综合防治措施,可有效地防治该虫害。此外石榴桃蛀螟的天敌种类较多,对其控制作用较为明显<sup>[50]</sup>。

当今时代,无公害石榴越来越受到广大消费者的青睐,发展无公害石榴产业,病虫害防治尤为重要。石榴病虫害的防治应坚持“预防为主,综合防治”的方针,结合病虫害发生规律有选择地综合防治,做到相互协调,最终促进石榴无公害产业的发展。

#### 1.5 贮藏加工

1.5.1 石榴的贮藏 石榴采后易出现果皮颜色变褐、失水皱缩、果实软化、异味及腐烂等现象,且呼吸作用越强腐烂速度越快,其中腐烂已成为影响石榴贮藏效果的限制性因素<sup>[51-52]</sup>。付娟妮等<sup>[53]</sup>发现可通过杀真菌剂或改变贮藏环境中的气体条件有效控制腐烂病的发生。此外适宜的贮藏环境对于石榴的品质影响也较大,其中温度是关键因素之一<sup>[54]</sup>。温度过高呼吸作用相对较强,营养消耗加快,不利于长时间贮藏;温度过低则会产生冻害,造成品质伤害;适宜的低温环境下呼吸作用缓慢,营养风味得以保持且病菌感染减少,贮藏时间较长<sup>[55]</sup>。关晓弯<sup>[56]</sup>分析了不同温度处理条件下石榴籽粒的品质变化,发现不同温度条件下石榴籽粒中可溶性糖、可滴定酸、维生素C及总酚含量均呈现不同的变化趋势。朱慧波等<sup>[57]</sup>的研究表明,低温条件下贮藏的石榴品质优于室温条件。张润光等<sup>[55]</sup>发现5℃条件下,石榴呼吸速率较低且冷害状况得到缓解,贮藏效果较好,但不同的品种最适贮藏温度有一定的差异。贮藏环境中湿度和气体浓度也是影响贮藏果实品质的主要因素,湿度主要通过影响蒸汽压来影响水分的保持,从而影响果实新鲜度。胡青霞等<sup>[58]</sup>的研究发现,石榴贮藏较适宜的相对湿度为90%~95%。贮藏环境中O<sub>2</sub>和CO<sub>2</sub>气体通过影响果实的呼吸作用来影响果实的贮藏品质,胡云峰等<sup>[59]</sup>的研究表明,石榴贮藏的适宜气体指标为2%~4%的O<sub>2</sub>。为延长贮藏期限,一定有效的贮藏技术是必不可少的。传统的贮藏方法有室内堆藏法、窖藏、坑沟贮藏、沼气贮藏等,这些方法主要是果农和销售商过去普遍采用的,但贮藏期

相对较短,适用于中短期贮藏,贮藏效果不好,易出现腐烂果及虫果<sup>[4,60]</sup>。目前对于大批量果实的贮藏主要采用冷库贮藏、气调贮藏、涂膜贮藏等现代化贮藏技术,同时可结合使用保鲜袋达到更好的效果,这些方法适用于中长期贮藏,但贮藏过程中应对贮藏环境严格要求<sup>[4,60]</sup>。

**1.5.2 石榴的加工** 石榴不同的组织具有不同的用途,除鲜食外,可根据其可利用的形式加工成不同类型的加工品,从而提升其商品价值。石榴果实可加工成果汁、果酒、果醋等食用产品。樊丹敏等<sup>[61]</sup>以蒙自石榴为原料研究了石榴果汁的加工及护色工艺,确定了最佳的果汁配方为石榴原汁25%、白砂糖12%、柠檬酸0.2%及苹果酸0.03%,为石榴加工产业提供了理论依据。目前石榴果酒作为一种营养型饮料也越来越受到消费者的青睐,主要有石榴露酒和发酵酒两种类型<sup>[4]</sup>。此外石榴籽粒中含有13%~23%的油脂,油脂中含有多种不饱和脂肪酸,余瑶盼等<sup>[62]</sup>对石榴籽中的脂肪酸进行研究发现主要有石榴酸、亚麻酸、油酸、亚油酸、棕榈酸、硬脂酸等,同时得出了最优的乙酯化工艺条件,为以石榴作为原材料的保健产品的开发和利用奠定了基础。

## 1.6 栽培土肥与机械化管理

优质高效的栽培管理技术是石榴产量、营养品质、商品质量及安全性的前提,目前我国石榴栽培技术、土肥水管理技术、机械化管理技术均有提升,主要表现为以下几点:

**1.6.1 扦插繁殖技术的革新** 传统露地扦插育苗技术分为冬季扦插和春季扦插,扦插苗圃选择平整的沙壤土,施有机肥,深耕,整匀整平后扦插,主要为硬枝扦插。中国农业科学院郑州果树研究所曹尚银等经过多年试验联合攻关一种高效的良种快繁技术“石榴良种光雾工厂化快繁技术”,使用该技术在河南地区6—8月份均可繁殖,扦插苗生长1个月左右即可进行移植,该技术既克服了植物组织培养成本高的问题,又弥补了常规露地扦插繁殖速度慢、季节限制的缺陷。

**1.6.2 树体整形修剪的改进** 我国石榴树传统种植和整形的方式为自然开心形或多主干自然开心形,进入盛果期后石榴园出现株行间郁闭,内堂光秃,果实品质下降。近几年,侯乐峰等<sup>[7]</sup>借鉴苹果等果树整形方法,采用主干疏层形、单干开心形等单干树

形,并取得了良好的结果。同时,在修剪季节上,提出改四季修剪为夏季修剪,指出冬春季修剪剪口处萌芽多加剧石榴树体营养消耗,影响植物生殖生长,改传统冬、春修剪为生理落果后至8月初进行一次以疏枝、撻枝、除萌为主的夏季修剪,收到了省用工、改善光照、提高品质的效果<sup>[7]</sup>。

**1.6.3 石榴园生草及保护地栽培** 我国石榴传统栽培模式中行间、株间和树盘一般保持疏松无草的状态,果园无草状态可减少果园杂草对石榴树体长势的影响,但不利于石榴园保墒,因此,近几年石榴园多采用生草辅助铺地膜的方式,株间生三叶草等具有固氮功能的绿植,树盘覆盖黑色地膜保墒并减少杂草丛生。

另外,石榴耐寒性差,我国山东<sup>[63]</sup>、陕西<sup>[64]</sup>、河南<sup>[65]</sup>等地区均遭受冻害。为减缓冻害危害,近年我国山东、河南地区均尝试温室栽培石榴,并取得了良好成效,山东淄博采用温室栽培技术,种植‘突尼斯软籽’石榴品质极佳。

**1.6.4 施肥技术的革新** 我国传统施肥方式包括土施(环状施肥、放射沟施肥、条沟施肥、穴状施肥)和叶面喷施两种方法。按照季节及树体生长情况进行施肥,传统的施肥方式容易造成肥力浪费且费时费工,近年来测土配方施肥技术在石榴栽培中得以利用,王改革等<sup>[66]</sup>研究测土配方施肥对河阴不同树龄软籽石榴产量和品质的影响,结果表明,配方肥处理能明显提高软籽石榴果实的产量及品质。同时,我国石榴山地栽培面积广,传统的施肥方式费时费工,近年来水肥一体化管理即减少了人工,又加速肥料作用速率,例如:江苏泗洪、云南永胜等地区利用水肥一体化进行石榴果园管理形成了优质高效的栽培模式。

**1.6.5 管理趋向机械化** 我国传统石榴管理多为人工管理,传统除草多采用锄头等原始工具,喷药多采用打药桶喷施,灌溉多采用大水漫灌,这不仅费时而且效果不佳,近年来,微型除草机、自走式喷药机及移动喷灌机的流行大大减少了石榴果园的人工成本。另外,侯乐峰等<sup>[7]</sup>提出改传统株行距种植为宽行窄株的种植方式,将更有助于果园机械化管理。美国、以色列等国家现代化栽培模式多采用机械化管理进行苗木定植、整形修剪、果实采收加工等,我国应学习他国高效管理方式,实现种植采收机械化的栽培模式。

## 2 问题与展望

石榴象征阖家团圆,子孙后代繁荣昌盛,同时石榴果实及加工品对癌症、冠状动脉心脏疾病、动脉粥样硬化、高胆固醇血症、高血压高血脂等具有显著疗效,因此,长期以来石榴深受我国人民喜爱。同时,目前石榴加工品的研发力度加强,各主产区相继开发了石榴酒、石榴醋、石榴化妆品等系列深加工产品,先后涌现出很多产品加工公司,例如安徽成果石榴酒酿造有限公司和陕西临潼丹诺尔石榴酒业有限公司等生产的石榴加工品不仅在国内广受欢迎,还远销东南亚和欧美。因此,石榴发展前景宽广。

但值得一提的是,目前石榴种植面积、产量呈现“南方快增、北方慢减”的发展趋势<sup>[67]</sup>,2017年,四川省石榴栽培面积2.4万hm<sup>2</sup>,产量达66万t,云南省石榴栽培面积1.5万hm<sup>2</sup>,产量达30万t,而原石榴主产区陕西,山东栽培面积分别仅0.8万hm<sup>2</sup>和1.0万hm<sup>2</sup><sup>[67]</sup>。归结其主要原因有二:一为目前软籽石榴的流行,软籽石榴的市场售价为普通硬籽石榴的2~4倍,软籽石榴的大力发展对我国传统石榴品种生产产生了影响,很多石榴主产区改原传统品种为软籽品种;二为石榴抗寒性差,陕西、河北、山东、河南地区多次产生石榴冻害,特别是软籽石榴品种耐寒性差,‘突尼斯软籽’石榴在气温低于-10℃超过半天即发生冻害,这极大地限制了软籽石榴的发展区域。

目前国内软籽石榴品种较为单一,大面积栽培的只有‘突尼斯软籽’一个品种,但‘突尼斯软籽’在云南部分地区、安徽、河南信阳等多雨地区坐果率低,在河南大部分地区、山东、陕西等地区冻害严重,因此,目前国内急需抗寒性强、品质佳的软籽石榴新品种,同时北方设施栽培软籽石榴、南方起垄栽培石榴的模式有助于‘突尼斯软籽’石榴优质高效栽培。

目前,我国是世界上石榴栽培面积最大的国家,同时也是石榴消费大国。广阔的市场,多样化的市场需求和稳定的政府支持为育种者提供了契机。石榴科学研究走在康庄大道上,向着美好宽广的未来发展。在新时代背景下,科学家将结合分子生物学手段提升育种效率,将会有更多样化、个性化的石榴新品种涌现,同时将发展出优质高效的栽培模式、更加绿色安全的加工品。

## 参考文献 References:

- [1] YUAN Z H, FANG Y M, ZHANG T K, FEI Z J, HAN F M, LIU C Y, LIU M, XIAO W, ZHANG W J, JU Y H, XU H L, HE D, LIU Y J, CHEN Y H, WANG L L, ZHOU J Q, GUAN D, YAN M, XIA Y H, HUANG X B, LIU D Y, WEI H M, ZHENG H K. The pomegranate (*Punica granatum* L.) genome provides insights into fruit quality and ovule developmental biology[J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2018, 16(7): 1363-1374.
- [2] 陈德均, 侯尚谦, 翟洪轩, 冯玉增, 李源. 我国石榴的种质资源及地理分布[J]. *河南科技*, 1989(10):18-19.  
CHEN Dejun, HOU Shangqian, ZHAI Hongxuan, FENG Yuzeng, LI Yuan. Introduction of pomegranate germplasm and their geographical distribution[J]. *Henan Science & Technology*, 1989(10):18-19.
- [3] 曲泽洲. 石榴史话[J]. *世界农业*, 1985(1): 54-55.  
QU Zezhou. History of pomegranate[J]. *World Agriculture*, 1985(1): 54-55.
- [4] 曹尚银, 侯乐峰. 中国果树志·石榴卷[M]. 北京: 中国林业出版社, 2013.  
CAO Shangyin, HOU Lefeng. Chinese fruit trees: Volume pomegranate[M]. Beijing: China Forest Press, 2013.
- [5] 周光洁, 袁永勇, 曾凡哲, 先开泽, 陈正国. 中国石榴生产的现状及发展前景[J]. *西南农业学报*, 1995(1):111-116.  
ZHOU Guangjie, YUAN Yongyong, ZENG Fanzhe, XIAN Kai-ze, CHEN Zhengguo. Present station and perspective of pomegranate development in China[J]. *Southwest Agricultural Journal*, 1995(1): 111-116.
- [6] 冯玉增, 宋梅亭. 我国石榴生产现状与发展建议[J]. *林业工程学报*, 2000, 14(5): 7-9.  
FENG Yuzeng, SONG Meiting. Present stations and suggestions for pomegranate industry of China[J]. *Journal of Forestry Engineering*, 2000, 14(5): 7-9.
- [7] 侯乐峰, 郭祁, 郝兆祥, 罗华. 我国软籽石榴生产历史、现状及其展望[J]. *北方园艺*, 2017, 41(20):196-199.  
HOU Lefeng, GUO Qi, HAO Zhaoxiang, LUO Hua. History, present situation and prospects of soft-seed pomegranate in China[J]. *Northern Horticulture*, 2017, 41(20):196-199.
- [8] QIN G H, XU C Y, MING R, TANG H B, GUYOT R, KRAMER E M, HU Y D, YI X L, QI Y J, XU X Y, GAO Z H, PAN H F, JIAN J B, TIAN Y P, YUE Z, XU Y L. The pomegranate (*Punica granatum* L.) genome and the genomics of punicalagin biosynthesis[J]. *The Plant Journal*, 2017, 91(6): 1108-1128.
- [9] LUO X, LI H X, WU Z K, WEN Y, ZHAO P, CAO D, YU H Y, LI K D, KRISHNA P, ZHAO D G, ZHANG F H, XIA X C, CHEN L N, WANG Q, JING D, CAO S Y. The pomegranate (*Punica granatum* L.) draft genome dissects genetic divergence between soft- and hard-seeded cultivars[J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2019, <https://doi.org/10.1111/pbi.13260>.
- [10] 赵先贵, 肖玲. 中国石榴科花粉形态的研究[J]. *西北植物学报*, 1996, 16(1):52-55.

- ZHAO Xiangui, XIAO Ling. Study on pollen morphology of Puniceae[J]. Acta Botanica Boreali, 1996, 16(1): 52-55.
- [11] 冯玉增, 宋梅亭, 宋长治. 河南省石榴种质资源的研究[J]. 中国果树, 2003(2): 25-28.  
FENG Yuzeng, SONG Meiting, SONG Changzhi. Study on pomegranate germplasms in Henan[J]. China Fruits, 2003(2): 25-28.
- [12] 侯乐峰, 耿道鹏, 苏成. 峰城石榴种质资源研究[J]. 落叶果树, 2006, 38(5): 19-21.  
HOU Lefeng, GENG Daopeng, SU Cheng. Study on pomegranate germplasms at Yicheng[J]. Deciduous Fruits, 2006, 38(5): 19-21.
- [13] 徐迎碧, 丁之恩. 4 种不同品种石榴的叶表皮特征电镜扫描观察[J]. 农业科学与技术, 2008, 9(3): 99-102.  
XU Yingbi, DING Zhien. Observation leaf epidermal structures of 4 pomegranate cultivars by electron microscope scanning[J]. Agricultural Science & Technology, 2008, 9(3): 99-102.
- [14] 王庆军, 郝兆祥, 罗华, 赵丽娜, 毕润霞, 赵亚伟. 分子标记在石榴种质资源遗传多样性研究中的应用[J]. 山东农业科学, 2017(9): 152-161.  
WANG Qingjun, HAO Zhaoxiang, LUO Hua, ZHAO Lina, Birunxia, ZHAO Yawei. Application of molecular marker in genetic diversity research of *Punica granatum* germplasm[J]. Shandong Agricultural Science, 2017(9): 152-161.
- [15] 巩雪梅. 石榴品种资源遗传变异分子标记研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2004.  
GONG Xuemei. Study on heredity and variation of pomegranate germplasm by means of molecular marker[J]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2004.
- [16] YUAN Z H, YIN Y L, QU J L, ZHU L Q, LI Y. Population genetic diversity in Chinese pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars revealed by fluorescent-AFLP markers[J]. Journal of Genetics and Genomics, 2007, 34(12): 1061-1071.
- [17] 卢龙斗, 刘素霞, 邓传良, 卢志远, 汪小飞, 高武军. RAPD 技术在石榴品种分类上的应用[J]. 果树学报, 2007, 24(5): 634-639.  
LU Longdou, LIU Suxia, DENG Chuanliang, LU Zhiyuan, WANG Xiaofei, GAO Wujun. Studies on classification of pomegranate cultivars by RAPD analysis[J]. Journal of Fruit Science, 2007, 24(5): 634-639.
- [18] 杨荣萍, 龙雯虹, 张宏, 许彬, 李文祥. 云南 25 份石榴资源的 RAPD 分析[J]. 果树学报, 2007, 24(2): 226-229.  
YANG Rongping, LONG Wenhong, ZHANG Hong, XU Bin, LI Wenxiang. RAPD analysis of 25 *Punica granatum* germplasm resources collected in Yunnan province[J]. Journal of Fruit Science, 2007, 24(2): 226-229.
- [19] 热娜·卡司木, 帕丽达·阿不力孜, 朱焱. 新疆石榴品种的 RAPD 分析[J]. 西北植物学报, 2008, 28(12): 2447-2450.  
RENA Kamusi, ABULIZI Palida, ZHU Yan. RAPD analysis of pomegranate in Xinjiang[J]. Acta Botanica Boreali, 2008, 28(12): 2447-2450.
- [20] 沈进. 中国石榴资源初级核心种质构建及其 ISSR 分子标记研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2008.  
SHEN Jin. Study on construction of primary core collection in pomegranate germplasm resources in China and its ISSR marker [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2008.
- [21] 赵丽华. 中国石榴居群遗传结构的 ISSR 分析[J]. 北方园艺, 2011(10): 103-107.  
ZHAO Lihua. ISSR analysis of pomegranate cluster structure in China[J]. Northern Horticulture, 2011(10): 103-107.
- [22] ZHAO L H, LI M Y, CAI G Z, PAN T C, SHAN C H. Assessment of the genetic diversity and genetic relationships of pomegranate (*Punica granatum* L.) in China using RAMP markers [J]. Scientia Horticulturae, 2013, 151: 63-67.
- [23] JIAN Z H, LIU X S, HU J B, CHEN Y H, FENG J C. Mining microsatellite markers from public expressed sequence tag sequences for genetic diversity analysis in pomegranate[J]. Journal of Genetics, 2012, 91(3): 353-358.
- [24] 马丽, 侯乐峰, 郝兆祥, 马耀华, 周玉亮, 明东风. 82 个石榴品种遗传多样性的 ISSR 分析[J]. 果树学报, 2015, 32(5): 741-750.  
MA Li, HOU Lefeng, HAO Zhaoxiang, MA Yaohua, ZHOU Yuliang, MING Dongfeng. Genetic diversity analysis of 82 pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars by ISSR markers[J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32(5): 741-750.
- [25] 陈芸, 王继莲, 丁晓丽, 马刘峰. 新疆石榴种质资源遗传多样性的 SRAP 分析[J]. 西北植物学报, 2016, 36(5): 916-922.  
CHEN Yun, WANG Jilian, DING Xiaoli, MA Liufeng. Genetic diversity of germplasm collection of pomegranate in Xinjiang using SRAP markers[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2016, 36(5): 916-922.
- [26] LUO X, CAO S Y, HAO Z X, HOU L F, CAO D, ZHANG J, LI H X, NIU J, XUE H, CHEN L N. Analysis of genetic structure in a large sample of pomegranate (*Punica granatum* L.) using fluorescent SSR markers[J]. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2018, 93(6): 659-665.
- [27] DUAN N B, BAI Y, SUN H H, WANG N, MA Y, LI M, ……., WAN S. Genome re-sequencing reveals the history of apple and supports a two-stage model for fruit enlargement[J]. Nature Communications, 2017, 8(1): 249.
- [28] WU J, WANG Y, XU J, KORBAN S S, FEI Z, TAO S, ……., GU C. Diversification and independent domestication of Asian and European pears[J]. Genome Biology, 2018, 19(1): 77.
- [29] CAO K, ZHENG Z, WANG L, LIU X, ZHU G, FANG W, ……., XIE M. Comparative population genomics reveals the domestication history of the peach, *Prunus persica*, and human influences on perennial fruit crops[J]. Genome Biology, 2014, 15(7): 415.
- [30] 邓秀新, 王力荣, 李绍华, 张绍铃, 张志宏, 丛佩华, 易干军, 陈学森, 陈厚彬, 钟彩虹. 果树育种 40 年回顾与展望[J]. 果树学报, 2019, 36(4): 514-520.  
DENG Xiuxin, WANG Lirong, LI Shaohua, ZHANG Shaoling, ZHANG Zhihong, CONG Peihua, YI Ganjun, CHEN Xuessen, CHEN Houbin, ZHONG Caihong. Retrospection and prospect of fruit breeding for last four decades in China[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(4): 514-520.



- [31] 陈利娜, 李好先, 牛娟, 薛辉, 刘贝贝, 王企, 张富红, 赵弟广, 曹尚银. ‘突尼斯’软籽石榴可育花和败育花生长期特性及形态差异研究[J]. 果树学报, 2017, 34(增刊): 80-87.  
CHEN Lina, LI Haoxian, NIU Juan, XUE Hui, LIU Beibei, WANG Qi, ZHANG Fuhong, ZHAO Diguang, CAO Shangyin. Growth characteristics and morphology differences between bisexual flowers and functionally male flowers of ‘Tunisiranzi’ [J]. Journal of Fruit Science, 2017, 34(Suppl.): 80-87.
- [32] SHAO J Z, CHEN C L, DENG X X. *In vitro* induction of tetraploid in pomegranate (*Punica granatum*) [J]. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 2003, 75(3): 241-246.
- [33] 罗华, 侯乐峰, 赵亚伟, 丁志强, 毕润霞, 赵丽娜, 王庆军, 孟健, 陈颖, 马敏, 郝兆祥. 枣庄市石榴国家林木种质资源库创新利用进展[J]. 山西果树, 2017(6): 14-17.  
LUO Hua, HOU Lefeng, ZHAO Yawei, DING Zhiqiang, BI Runxia, ZHAO Lina, WANG Qingjun, MENG Jian, CHEN Ying, MA Min, HAO Zhaoxiang. Progress in innovative utilization of pomegranate national forest germplasm bank in Zaozhuang[J]. Shanxi Fruits, 2017(6): 14-17.
- [34] XUE H, CAO S Y, LI H X, ZHANG J, NIU J, CHEN L N, ZHANG F H, ZHAO D G. De novo transcriptome assembly and quantification reveal differentially expressed genes between soft-seed and hard-seed pomegranate (*Punica granatum* L.) [J]. Plos One, 2017, 12(6): e0178809.
- [35] NIU J, CAO D, LI H X, XUE H, CHEN L N, LIU B B, CAO S Y. Quantitative proteomics of pomegranate varieties with contrasting seed hardness during seed development stages[J]. Tree Genetics & Genomes, 2018, 14(1): 14.
- [36] XIA X C, LI H X, CAO D, LUO X, YANG X W, CHEN L N, LIU B B, WANG Q, JING D, CAO S Y. Characterization of a NAC transcription factor involved in the regulation of pomegranate seed hardness (*Punica granatum* L.) [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2019, 139: 379-388.
- [37] LUO X, CAO D, LI H X, ZHAO D G, XUE H, NIU J, CHEN L N, ZHANG F H, CAO S Y. Complementary iTRAQ-based proteomic and RNA sequencing-based transcriptomic analyses reveal a complex network regulating pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit peel colour [J]. Scientific Reports, 2018, 8(1): 12362.
- [38] CHEN L N, ZHANG J, LI H X, NIU J, XUE H, LIU B B, WANG Q, LUO X, ZHANG F H, ZHAO D G, CAO S Y. Transcriptomic analysis reveals candidate genes for female sterility in pomegranate flowers [J]. Frontiers in Plant Science, 2017, 8: 1430.
- [39] 刘贝贝, 陈利娜, 牛娟, 李好先, 王企, 曹尚银. 电导法协同 Logistic 方程评价 80 个石榴品种的抗寒性 [J]. 果树学报, 2017, 34(增刊): 127-133.  
LIU Beibei, CHEN Lina, NIU Juan, LI Haoxian, WANG Qi, CAO Shangyin. Comparison of cold resistance in 80 *Punica granatum* using relative electrical conductivity method and Logistic equation [J]. Journal of Fruit Science, 2017, 34(Suppl.): 127-133.
- [40] TERAKAMI S, MATSUTA N, YAMAMOTO T. Agrobacterium-mediated transformation of the dwarf pomegranate (*Punica granatum* L. var. *nana*) [J]. Plant Cell Reports, 2007, 26(8): 1243-1251.
- [41] 杨选文, 石亚芬, 李好先, 夏小丛, 陈利娜, 刘贝贝, 王企, 曹尚银. ‘中农红’石榴组织培养和遗传转化叶片受体材料的获得 [J]. 果树学报, 2017, 34(增刊): 88-94.  
YANG Xuanwen, SHI Yafen, LI Haoxian, XIA Xiacong, CHEN Lina, LIU Beibei, WANG Qi, CAO Shangyin. Cultivation of the ‘Zhongnonghong’ pomegranate tissue and genetic transformation of the leaf receptor material were obtained [J]. Journal of Fruit Science, 2017, 34(Suppl.): 88-94.
- [42] 陈延惠, 谭彬, 李洪涛, 胡青霞, 叶霞, 孟海军, 冯建灿. 石榴 2 种外植体再生方法在遗传转化研究中的优势比较 [J]. 果树学报, 2012, 29(4): 598-604.  
CHEN Yanhui, TAN Bin, LI Hongtao, HU Qingxia, YE Xia, MENG Haijun, FENG Jiancan. Comparison of advantages of two kinds of explant regeneration methods for studies on genetic transformation in pomegranate [J]. Journal of Fruit Science, 2012, 29(4): 598-604.
- [43] 冯玉增. 我国石榴研究概况 [C]// 中国石榴研究进展 (一). 中国园艺学会石榴分会筹备组: 中国园艺学会, 2010.  
FENG Yuzeng. Research overview of pomegranate in China [C]// Research progress of pomegranate in China (One). China Horticultural Society Pomegranate Branch Preparatory Group: Chinese Horticultural Society, 2010.
- [44] 孙德茂. 陕西石榴干腐病发生规律与防治措施 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.  
SUN Demao. Occurrence and control measures of pomegranate dry rot in Shaanxi [D]. Yangling: Northwest Agriculture & Forestry University, 2008.
- [45] 李永庆, 成玉良, 陈学君. 济南地区石榴干腐病的发生及内生拮抗菌的筛选 [J]. 山东林业科技, 2014, 44(5): 7-11.  
LI Yongqing, CHENG Yuliang, CHEN Xuejun. The occurrence of pomegranate dry rot in Jinan area and screening of endophytic bacteria [J]. Shandong Forest Science and Technology, 2014, 44(5): 7-11.
- [46] 李瑶, 朱立武, 孙龙. 石榴根结线虫病发现简报 [J]. 中国农学通报, 2003, 19(3): 128.  
LI Yao, ZHU Liwu, SUN Long. Bulletin on the discovery of pomegranate root knot nematode disease [J]. Chinese Agricultural Bulletin, 2003, 19(3): 128.
- [47] 周银丽, 张国伟, 张薇, 胡先奇. 石榴根际寄生线虫的种类研究 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36(4): 1478-1493.  
ZHOU Yinli, ZHANG Guowei, ZHANG Wei, HU Xianqi. Study on the species of parasitic nematode in pomegranate rhizosphere [J]. Anhui Agricultural Science, 2008, 36(4): 1478-1493.
- [48] 周银丽, 郭建伟, 杨伟, 胡先奇. 石榴枯萎病菌拮抗菌 B-110 的分离鉴定 [J]. 中国南方果树, 2018, 47(6): 1-6.  
ZHOU Yinli, GUO Jianwei, YANG Wei, HU Xianqi. Isolation and identification of antagonistic bacteria B-110 of pomegranate wilt [J]. South China Fruits, 2018, 47(6): 1-6.
- [49] 张森. 石榴常见病虫害的发生与防治 [C]// 中国石榴研究进展

- (一). 中国园艺学会石榴分会筹备组: 中国园艺学会, 2010.  
ZHANG Sen. Occurrence and control of common diseases and pests of pomegranate[C]//Research progress of pomegranate in China (One). China Horticultural Society Pomegranate Branch Preparatory Group: Chinese Horticultural Society, 2010.
- [50] 陈文进. 石榴桃蛀螟的发生与综合防治研究[J]. 河南科技大学学报(农学版), 2004, 24(2): 51-53.  
CHEN Wenjin. Study on the occurrence and comprehensive control of garnet borer[J]. Journal of Henan University of Science and Technology (Agronomy Edition), 2004, 24(2): 51-53.
- [51] 张润光. 石榴贮期生理变化及保鲜技术研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2006.  
ZHANG Runguang. Physiological changes and preservation techniques of pomegranate during storage[D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2006.
- [52] 冯立娟. 国内外石榴产业发展现状[C]//中国石榴研究进展(一). 中国园艺学会石榴分会筹备组: 中国园艺学会, 2010.  
FENG Lijuan. Development status of pomegranate industry at home and abroad[C]//Research progress of pomegranate in China (One). China Horticultural Society Pomegranate Branch Preparatory Group: Chinese Horticultural Society, 2010.
- [53] 付娟妮, 刘兴华, 蔡福带, 寇莉萍. 石榴采后腐烂病原菌的分子鉴定[J]. 园艺学报, 2007, 34(4): 877-882.  
FU Juanni, LIU Xinghua, CAI Fudai, KOU Liping. Molecular identification of pathogen of postharvest rot of pomegranate[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2007, 34(4): 877-882.
- [54] 张创新, 王养利, 潘锋, 张淑霞. 石榴贮藏保鲜“四度”控制技术[J]. 西北园艺, 2004(10): 53-54.  
ZHANG Chuangxin, WANG Yangli, PAN Feng, ZHANG Shuxia. Control technology of “four degrees” for storage and preservation of pomegranate[J]. Northwest Horticulture, 2004 (10): 53-54.
- [55] 张润光, 张有林. 温度对采后石榴果实品质和某些生理指标的影响[J]. 植物生理学通讯, 2009, 45(7): 647-650.  
ZHANG Runguang, ZHANG Youlin. Effect of temperature on fruit quality and some physiological indexes of pomegranate after harvest[J]. Plant Physiology Communication, 2009, 45 (7): 647-650.
- [56] 关晓弯. 不同温度贮藏对采后石榴品质的影响及相关基因的表达[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2016.  
GUAN Xiaowan. Effects of different temperature storage on quality of pomegranate after harvest and expression of related genes[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2016.
- [57] 朱慧波, 张有林, 宫文学, 于月英. 新疆喀什甜石榴采后生理与贮藏保鲜技术[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 339-344.  
ZHU Huibo, ZHANG Youlin, GONG Wenxue, YU Yueying. Postharvest physiology and storage technology of Xinjiang Kashi sweet pomegranate[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12): 339-344.
- [58] 胡青霞, 张丽婷, 李洪涛, 吴亚君, 陈延惠. 石榴果实贮期生理变化与采后保鲜技术研究进展[J]. 河南农业科学, 2014, 43(3): 5-11.  
HU Qingxia, ZHANG Liting, LI Hongtao, WU Yajun, CHEN Yanhui. Research progress on physiological changes during storage and postharvest preservation technology of pomegranate fruits[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2014, 43 (3): 5-11.
- [59] 胡云峰, 李喜宏, 关文强. 石榴低温气调保鲜技术[J]. 果农之友, 2003(1): 40.  
HU Yunfeng, LI Xihong, GUAN Wenqiang. Low temperature air conditioning preservation technology of pomegranate[J]. Fruit Growers' Friend, 2003(1): 40.
- [60] 吕春丽. 石榴贮藏技术及实施要点[J]. 农业与技术, 2017, 37(17): 43-44.  
LÜ Chunli. Storage technology and key points of pomegranate [J]. Agriculture and Technology, 2017, 37(17): 43-44.
- [61] 樊丹敏, 兰玉倩, 吕俊梅, 严子钧, 齐自元. 石榴果汁加工工艺研究[J]. 食品工业, 2014, 35(7): 102-105.  
FAN Danmin, LAN Yuqian, LÜ Junmei, YAN Zijun, QI Ziyuan. Study on the processing technique of pomegranate juice[J]. Food Industry, 2014, 35(7): 102-105.
- [62] 余瑶盼, 唐年初, 赵晨伟. 石榴籽油脂肪酸乙酯化工艺研究[J]. 中国油脂, 2017, 42(10): 31-33.  
YU Yaopan, TANG Nianchu, ZHAO Chenwei. Study on esterification process of pomegranate seed oil with fatty acid ethyl[J]. China Oils and Fats, 2017, 42(10): 31-33.
- [63] 田加才, 李甲梁, 尹燕雷, 王跃华, 李春. 2015 年山东枣庄石榴冻害情况分析[J]. 落叶果树, 2017, 49(1): 57-58.  
TIAN Jiakai, LI Jialiang, YIN Yanlei, WANG Yuehua, LI Chun. Analysis on freezing damage of pomegranate in Zaozhuang of Shandong province in 2015[J]. Deciduous Fruits, 2017, 49 (1): 57-58.
- [64] 柏永耀. 临潼石榴冻害分布规律[J]. 西北园艺, 2003(12): 38-39.  
BO Yongyao. Distribution rule of freezing damage of pomegranate in Lintong[J]. Northwest Horticulture, 2003(12): 38-39.
- [65] 随少峰, 王玉岗, 张友安. 低温冻害对河南省荥阳市软籽石榴成灾的分析与研究[J]. 北京农业, 2013, (27): 26-27.  
SUI Shaofeng, WANG Yugang, ZHANG Youan. Analysis and research of damage caused by low temperature freezing to xingyang soft seed pomegranate in Henan province[J]. Beijing Agriculture, 2013(27): 26-27.
- [66] 王改革, 黄玉芳, 汪洋, 安志超, 李瑞珂, 叶优良. 测土配方施肥对河阴地区不同树龄软籽石榴产量和品质的影响[J]. 北方园艺, 2018(13): 114-120.  
WANG Gaige, HUANG Yufang, WANG Yang, AN Zhichao, LI Ruike, YE Youliang. Effects of soil fertilization on yield and quality of soft-seeded pomegranate in different age in Heyin region[J]. Northern Horticulture, 2018(13): 114-120.
- [67] 陶华云, 黄敏, 王秀兰. 我国石榴产业发展趋势分析与对策建议[J]. 中国果业信息, 2019, 36(07): 13-16.  
TAO Huayun, HUANG Min, WANG Xiulan. Analysis of the development trends of pomegranate industry in China and countermeasures. China Fruit News, 2019, 36 (07): 13-16.